

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до курсової роботи
«Розрахунок системи димовиделення»
з курсу
«ВЕНТИЛЯЦІЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ»
для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 2 від 17.05.2019 р.

Харків
НТУ «ХП»
2019

Методичні вказівки до курсової роботи «Розрахунок системи димови-
делення» з курсу «Вентиляція та кондиціювання повітря» для студентів
спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» / уклад. О. П. Авдєєва –
Х. : НТУ «ХПІ», 2019. – 30 с.

Укладач: О. П. Авдєєва

Рецензент О. О. Литвиненко

Кафедра турбінобудування

ВСТУП

Системи димовидалення є життєво важливими елементами конструкції будь-якої будівлі, оскільки дим - це не тільки неприємне, але і небезпечне явище для людини, яке містить отруйні речовини і частинки сгораючого матеріалу. Залежно від концентрації диму в повітря, може наступити легке отруєння організму до летального результату буквально за кілька хвилин. Тому система димовидалення, як складова системи протипожежної безпеки, обов'язково повинна закладатися в проект при проектуванні будь-якого приміщення.

Системи димовидалення потрібні там, де при виникненні пожежі можуть утворитися високі концентрації диму, а також небезпечні для здоров'я газоподібні речовини. Система димовидалення – це спеціальна керована автоматично або вручну технічна система припливно-витяжної вентиляції. Основне завдання – забезпечення умов для безпечної евакуації людей у випадку виникнення пожежі на об'єкті.

Метою розрахунку системи димовидалення є попередження виникнення масштабних пожеж.

Курсова робота виконується для закріплення знань з курсу «Вентиляція та кондиціювання повітря». Методичні вказівки складаються з двох розділів та додатків.

В першому та другому розділах наведено інформацію, щодо вихідних даних та порядку розрахунку системи димовидалення відповідно.

Початкові дані до розрахункової роботи наведені у додатку.

До захисту подається розрахункова записка.

1. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНОКУ СИСТЕМИ ДИМОВИДЕЛЕННЯ

Вихідними даними для розрахунку системи димовидалення є характеристики будівлі (призначення будівлі і його план) і погодні умови місцевості.

2. ПОРЯДОК РОЗРАХУНКУ

1. Витрата диму, що підлягає видаленню з коридору або холу, кг/с:

- Для жилих будівель

$$G_d = 0,95BH^{1,5}n; \quad (1)$$

- Для громадських, адміністративно-побутових і виробничих будівель:

$$G_d = 1,2BH^{1,5}nK_d; \quad (2)$$

де B – ширина більшої з стулок дверей при виході їх коридора або холу до сходових кліток або назовні, м;

H – висота дверей, м; при $H < 2$ м приймати $H = 2$ м, при $H > 2,5$ м приймати $H = 2,5$ м;

n – коефіцієнт, що залежить від загальної ширини великих стулок дверей B , відкриваються при пожежі з коридору до сходових кліток або назовні (табл. 2.1);

K_d – коефіцієнт відносної повноти і тривалості відкривання дверей для виходу з коридору до сходової клітки або назовні, $K_d = 1$ при евакуації 25 чоловік та більше і $K_d = 0,8$ при евакуації менше 25 чоловік через одні двері.

Таблиця 2.1 – Значення ширини дверей для різних будинків

Вид будинка	Ширина дверей B , м				
	0,6	0,9	1,2	1,8	2,4
Для житлових будинків	1,0	0,82	0,7	0,51	0,41
Для громадських, адміністративно-побутових і виробничих будівель	1,05	0,91	0,8	0,62	0,5

2. Вибір димового клапану.

Димові клапани слід розміщувати на димових шахтах під стелею коридору або холу. Допускається приєднання димових клапанів до шахт на

відгалуженнях, але не більше двох відгалужень від шахти на одному поверсі. Для вибору клапана використовуються дані заводу-виготовлювача (Додаток А). Клапан вибирається по площі прохідного перетину, яка повинна забезпечувати масову швидкість диму $v_p = 7 - 10 \text{ кг/(см}^2\text{)}$:

$$F = G_d / v_p. \quad (3)$$

Після вибору клапана необхідно уточнити дійсну витратну швидкість диму $v_p = G_d / F_{\text{кл}}$.

3. Проектування димової шахти.

Розміри шахти визначаються висотою будівлі та умовою забезпечення масової швидкості диму в шахті $v_p^{\text{ш}} = G_d / F_{\text{ш}}$ не більше $8 \text{ кг/(см}^2\text{)}$. Матеріалом шахти може бути бетон, шлакобетон, цегла, стіна, поштукатурена по сталевій сітці.

4. Втрати тиску в димовому клапані.

Втрати тиску в димовому клапані визначаються за формулою, Па:

$$\Delta P_{\text{кл}} = K_T (\xi_1 + \xi_2) \frac{v_p^2}{2\rho}, \quad (4)$$

де K_T – поправочний коефіцієнт для коефіцієнтів місцевих опорів,

$$K_T = 1,3 \frac{\rho}{\rho_{\text{в}}};$$

ρ - щільність переміщуючих газів, кг/м^3 (табл. 2.2);

$\rho_{\text{в}}$ - щільність стандартного повітря, $\rho_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$;

ξ_1 – коефіцієнт опору входу в димової клапан, $\xi_1 = 2,2$ при вході у вигляді коліна з кутом 90° та $\xi_1 = 1,32$ при вході у вигляді коліна з кутом 45° ;

ξ_2 – коефіцієнт опору приєднання димового клапана до шахти, $\xi_2 = 0,3$ для клапанів типу КПДШ, $\xi_2 = 0,2$ для клапанів типу КДП-5 і КЕ-1.

Температуру газів для житлових будівель в розрахунку слід приймати рівної 300°C .

Таблиця 2.2 – Щільність газів

Температура газу t , $^\circ\text{C}$	Щільність газу ρ , кг/м^3
300	0,61
450	0,51
600	0,41

5. Втрати тиску на тертя в шахті на першій ділянці.

$$\Delta P_{\text{тр}} = K_{\text{тр}} R_{\text{тр}} K_c l, \text{ Па}, \quad (5)$$

де $K_{тр}$ – коефіцієнт, що враховує зміст в димі твердих частинок (табл. 2.3);

$R_{тр}$ – втрати тиску на тертя для сталевих повітропроводів, кгс/м², приймаються по номограмі (Додаток 2) або довідником в залежності від еквівалентного діаметра ділянки шахти $d_{екв} = \frac{2ab}{a+b}$ (a та b – розміри шахти, м) і

динамічного тиску $P_{д1} = \frac{(v_p^{ш})^2}{2\rho}$;

K_c – коефіцієнт, що залежить від матеріалу шахти (табл. 2.4);

l – довжина ділянки шахти (в розрахунку – висота першого поверху).

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт $K_{тр}$

Температура диму t , °C	$K_{тр}$
300	9,6
450	8
600	6,45

Таблиця 2.4 – Коефіцієнт K_c

Матеріал шахти	K_c
Бетон, шлакобетон	1,7
Кирпич	2,1
Стінки оштукатурені по сталевій сітці	2,7
Сталь	1

6. Загальні втрати тиску на першій ділянці.

$$\Delta P_1 = \Delta P_{кл} + \Delta P_{тр}. \quad (6)$$

7. Підсмоктування повітря через нещільності закритого димового клапана на 2 поверсі.

$$G_{кл2} = 0,0112(F_{кл} \cdot \Delta P_1)^{0,5}. \quad (7)$$

Для установки на 2 поверсі приймається такий же тип димового клапана, як і на першому.

8. Щільність і витрата газу в верхньому кінці шахти.

Щільність газів в верхньому кінці (гирло) шахти, кг/м³:

$$\rho_y = \rho + \Delta \rho_z (N - 1), \quad (8)$$

де $\Delta\rho_y$ – збільшення щільності газу в димовій шахті на один поверх, визначається в залежності від процентного відношення $G_{кл2}$ до G_d (табл. 2.5);

N – кількість поверхів у будинку.

Витрата газів в гирлі шахти:

$$G_y = 0,81 \frac{G_d \rho_y}{(1 - 0,83 \rho_y)}.$$

Таблиця 2.5 – Залежність щільності газу від процентного відношення $G_{кл2}$ до G_d

$\frac{G_{кл2}}{G_d} \cdot 100\%$	3,2	3	2,8	2,6	2,4	2,2	2	1,8	1,6
$\Delta\rho_y$	0,01	0,009	0,0084	0,0078	0,0072	0,0066	0,0061	0,0055	0,0049

9. Перевірка швидкості газів в гирлі шахти і уточнення її розмірів.

По витраті газів в гирлі шахти перевіряють швидкість газів, яка не повинна перевищувати $15 \text{ кг}/(\text{см}^2)$. Якщо ця умова не виконується, коригують розміри шахти, збільшуючи прохідний перетин. У разі зміни прохідного перетину шахти уточнюють величини, розраховані в пунктах 5 – 8.

$$v_p^y = \frac{G_y}{F_{ш}}. \quad (9)$$

10. Коефіцієнт опору шахти.

$$\xi_{ш} = \frac{9,6 R_{ш} K_c l}{P_{ду}} + 0,3 K_T (N - 1), \quad (10)$$

де $R_{ш}$ – втрати на тертя в шахті, що визначаються за масової швидкості і еквівалентному діаметру, $R_{ш} = R_{тр}$ (п.5);

l – довжина шахти (без урахування першого поверху);

$P_{ду}$ – динамічний тиск в гирлі шахти, $P_{ду} = \frac{(v_p^y)^2}{2\rho_y}$.

K_T – коефіцієнт, що враховує зниження температури і збільшення щільності газу, $K_T = 0,75$.

11. Втрати тиску в шахті.

$$\Delta P_y = 0,5 (P_{д1} + P_{ду}) \xi_{ш} + \Delta P_1, \quad (11)$$

12. Втрати тиску в повітроводі для приєднання шахти до вентилятора.

Конфігурація повітропроводу задана у вихідних даних.

$$\Delta P_{\text{в}} = K_{\text{тр}} R_{\text{в}} K_{\text{с}} l_{\text{в}} + \sum \xi K_T \frac{(v_{\text{п}}^y)^2}{2\rho_y}, \quad (12)$$

де $R_{\text{в}}$ – питомі втрати на тертя в повітроводі, визначаються за номограмами або таблиць в довіднику в залежності від діаметра повітропроводу і динамічного тиску в гирлі шахти;

$l_{\text{в}}$ – довжина повітропроводу, м;

$\sum \xi$ – сума місцевих опорів в повітроводі (враховуються опір на відводів, для одного відводу $\xi = 0,5$).

При визначенні $K_{\text{тр}}$, $K_{\text{с}}$ і $R_{\text{в}}$ враховувати матеріал повітропроводу.

13. Втрати тиску системи на всмоктування.

$$\Delta P_{\text{ув}} = \Delta P_{\text{у}} + \Delta P_{\text{в}}. \quad (13)$$

14. Підсоси повітря через нещільності конструкції шахти та повітропроводів до вентилятора.

$$G_{\text{п}} = G_{\text{пш}} \Pi_{\text{ш}} l_{\text{ш}} + G_{\text{пв}} \Pi_{\text{в}} l_{\text{в}} + 0,1(G_{\text{у}} - G_{\text{д}}), \quad (14)$$

де $G_{\text{пш}}$ і $G_{\text{пв}}$ – питома підсмоктування повітря через нещільності шахти і повітроводи відповідно, визначається по табл. 2.6 в залежності від тиску $\Delta P_{\text{ув}}$ і матеріалу шахти і повітроводи. При використанні стали або монолітного бетону питома підсмоктування повітря визначається за класом «П», при використанні інших матеріалів – за класом «Н»;

$\Pi_{\text{ш}}$, $\Pi_{\text{в}}$ – периметри шахти і повітроводи, м;

$l_{\text{ш}}$ – повна довжина шахти, м;

$l_{\text{в}}$ – довжина повітропроводу.

Таблиця 2.6 – Питоме підсмоктування повітря через нещільності шахти і повітроводи

$\Delta P_{\text{ув}}$ Па	200	400	600	800	100	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Клас «П»	0,0004	0,0006	0,0008	0,001	0,0012	0,0013	0,0015	0,0016	0,0018	0,0019	0,002
Клас «Н»	0,0012	0,0019	0,0025	0,0031	0,0036	0,004	0,0045	0,0048	0,0054	0,0057	0,006

Примітка: для прямокутних повітропроводів вводиться коефіцієнт 1,1.

15. Загальний витрата газів перед вентилятором.

$$G_{\text{сум}} = G_y + G_{\text{п}}. \quad (15)$$

16. Втрати тиску на всмоктування з урахуванням підсосу повітря через нещільності шахти і повітроводи.

$$\Delta P_{\text{вс}} = 0,5 \Delta P_{\text{ув}} \left[1 + \left(\frac{G_{\text{сум}}}{G_y} \right)^2 \right]. \quad (16)$$

17. Щільність газів перед вентилятором.

$$\rho_{\text{сум}} = \frac{G_{\text{сум}}}{\frac{G_{\text{д}}}{\rho} + \frac{G_{\text{сум}} - G_{\text{д}}}{\rho_{\text{в}}}}. \quad (17)$$

18. Температура суміші газів

$$T = \frac{353 - 273 \rho_{\text{сум}}}{\rho_{\text{сум}}}. \quad (18)$$

19. Природне тиск за рахунок різниці питомих ваг зовнішнього повітря і газів.

Визначається для теплої пори року і враховується зі знаком «-».

$$\Delta P_{\text{ес}} = h(\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{сг}}) + h_{\text{в}}(\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{г}}), \quad (19)$$

де h – висота димової шахти від осі димового клапана на першому поверсі до осі вентилятора, м; в розрахунку приймаємо h дорівнює висоті шахти без першого поверху плюс 1 м;

$h_{\text{в}}$ – відстань по вертикалі від осі вентилятора до випуску газів в атмосферу;

$$\gamma_{\text{н}} - \text{питома вага зовнішнього повітря, } \gamma_{\text{н}} = \frac{3463}{273 + t_{\text{н}}};$$

$$\gamma_{\text{сг}} - \text{середня питома вага газів до вентилятора, } \gamma_{\text{сг}} = 4,9(\rho_{\text{в}} + \rho);$$

$$\gamma_{\text{г}} - \text{питома вага газів до вентилятора, } \gamma_{\text{г}} = \rho_{\text{сум}} g.$$

20. Втрати тиску в системі з урахуванням природного тиску газів.

$$\Delta P_{\text{всн}} = \Delta P_{\text{сум}} - \Delta P_{\text{ес}}, \quad (20)$$

де $\Delta P_{\text{сум}}$ – повні втрати на викид газів в атмосферу, $\Delta P_{\text{сум}} = \Delta P_{\text{вс}} + \Delta P_{\text{вих}};$

$\Delta P_{\text{вих}}$ – втрати тиску на викид газів в атмосферу,

$$\Delta P_{\text{вих}} = K_{\text{тр}} R_{\text{тр}} K_c l + \sum \xi \frac{v_{\text{вих}}^2}{2\rho_{\text{сум}}};$$

K_c – коефіцієнт, що враховує матеріал димової труби (таблиця 4);

$R_{\text{тр}}$ – питомий опір димаря;

l – довжина димової труби, м;

$\sum \xi$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів димової труби;

$v_{\text{вих}}$ – масова швидкість в димовій трубі, $v_{\text{вих}} = \frac{G_{\text{сум}}}{F_{\text{в}}}$;

$F_{\text{в}}$ – площа поперечного перерізу димової труби.

21. Умовні втрати, наведені до щільності стандартного повітря.

$$\Delta P_{\text{усл}} = 1,2 \frac{\Delta P_{\text{вен}}}{\rho_{\text{сум}}}. \quad (21)$$

22. Необхідна продуктивність вентилятора, м³/год

$$L_{\text{вен}} = 3600 \frac{G_{\text{сум}}}{\rho_{\text{сум}}}. \quad (22)$$

Виходячи з умовних втрат і необхідної продуктивності, підбирається вентилятор для системи димовидалення (Додаток В).

Приклад виконання розрахункового завдання дано в Додатку Г.

ДОДАТКИ

Додаток А. Димові клапани

Таблиця А.1 Параметри димових клапанів

Позначення клапана	F, м ²	Установчі розміри, мм			Маса, кг	Межа вогне- стійкості, ч
		Довжина <i>l</i>	Висота <i>h</i>	Шири- на <i>b</i>		
КПДШГ-2,5	0,25	750	500	140	21	1
КПДШВ-2,5	0,25	500	750		21	1
КПДШК-25	0,25	600	600		21	1
КПДШК-30	0,30	650	650		25	1
КПДШВ-35	0,35	700	700		29	1
КПДШВ-40	0,4	750	750		34	1
КЭ-401	0,2	600	800			1

Додаток Б. Номограма для визначення питомих втрат на тертя в круглих повітропроводах

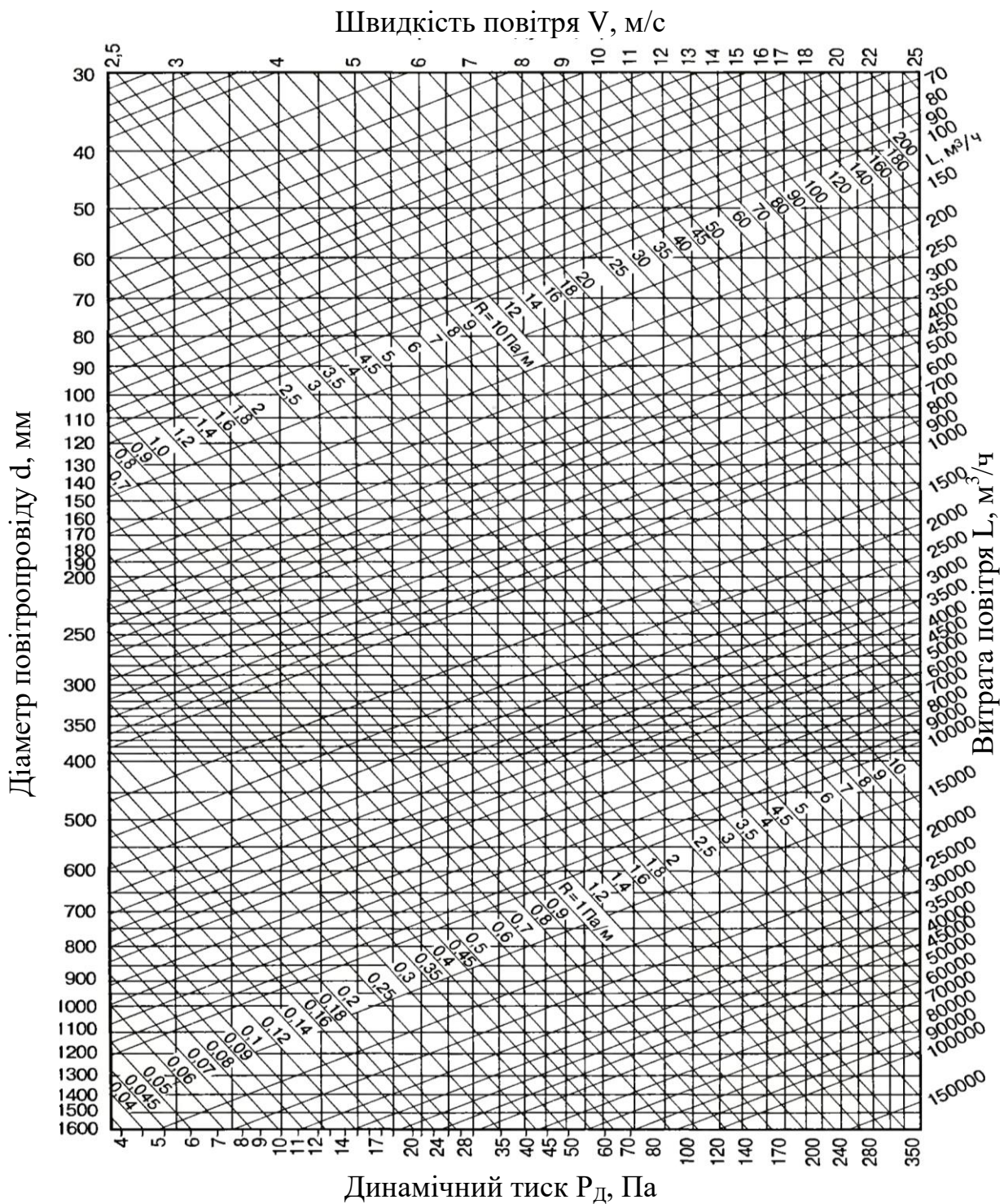
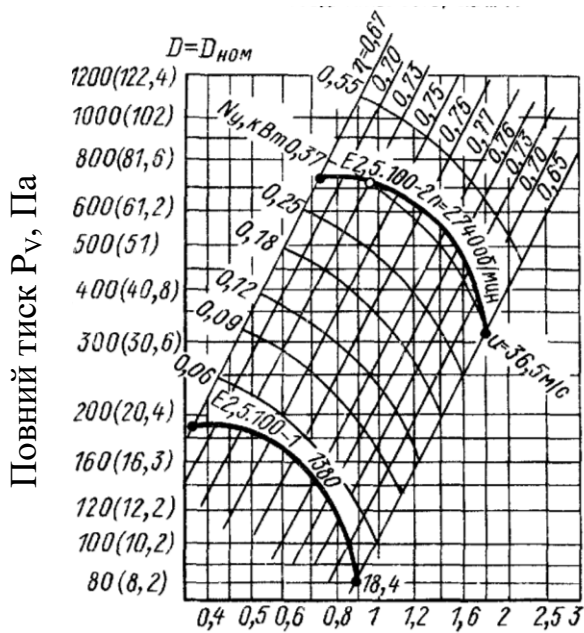


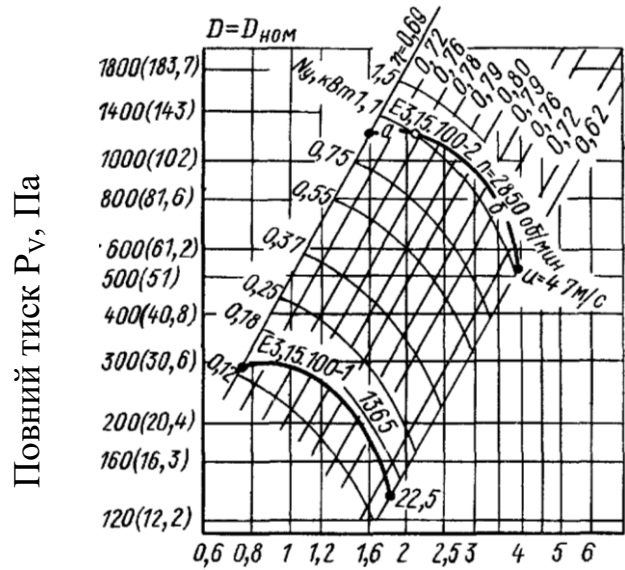
Рисунок Б.1 – Номограма для визначення питомих втрат на тертя в круглих повітропроводах

Додаток В Аеродинамічні характеристики вентиляторів



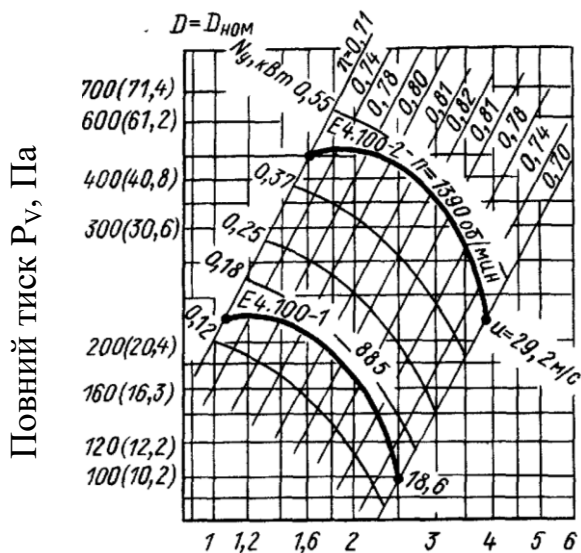
Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В1 – Аеродинамічні характеристики В.Ц4-75-2,5



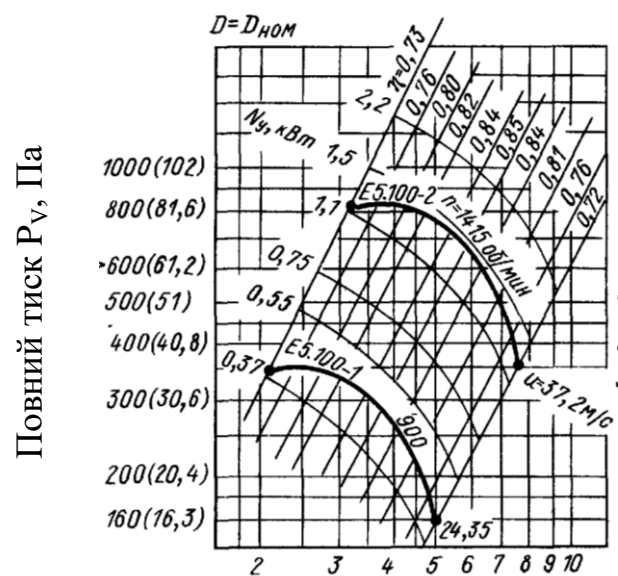
Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В2 – Аеродинамічні характеристики В.Ц4-75-3,15



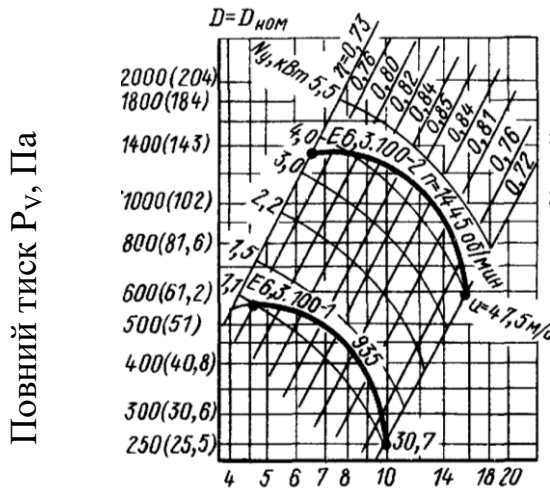
Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В3 – Аеродинамічні характеристики В.Ц4-75-4



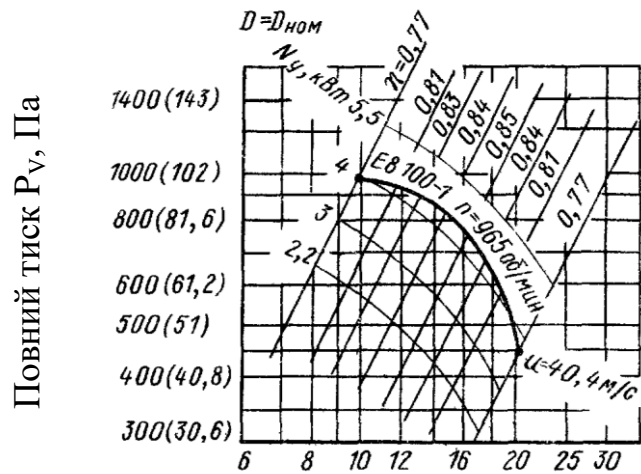
Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В4 – Аеродинамічні характеристики В.Ц4-75-5



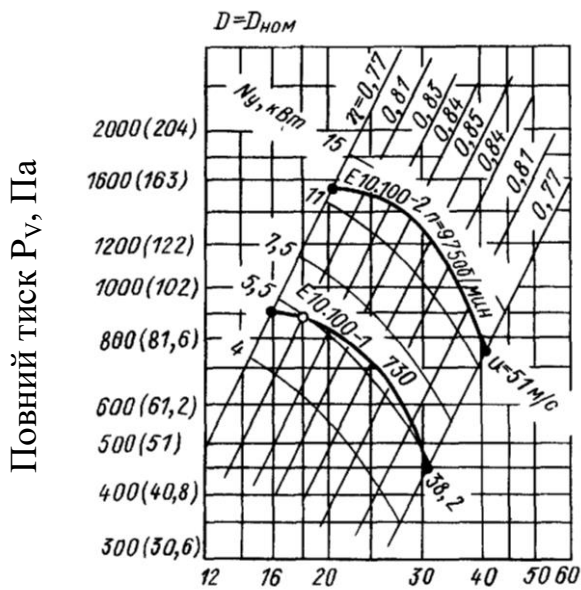
Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В5 – Аеродинамічні характеристики В.Ц4-75-6,3



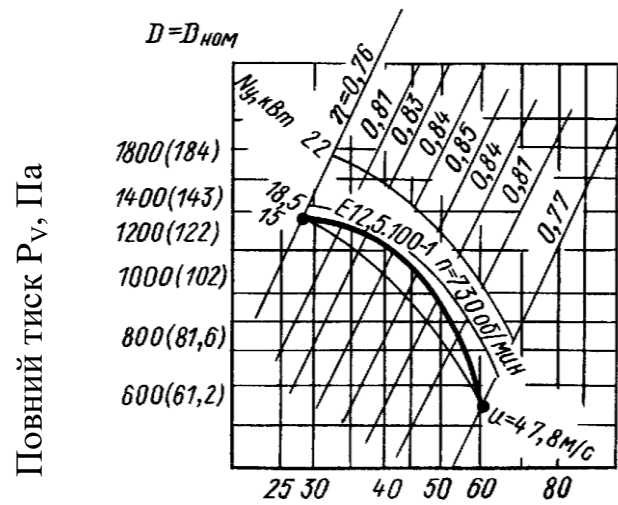
Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В6 – Аеродинамічні характеристики В.Ц4-75-8



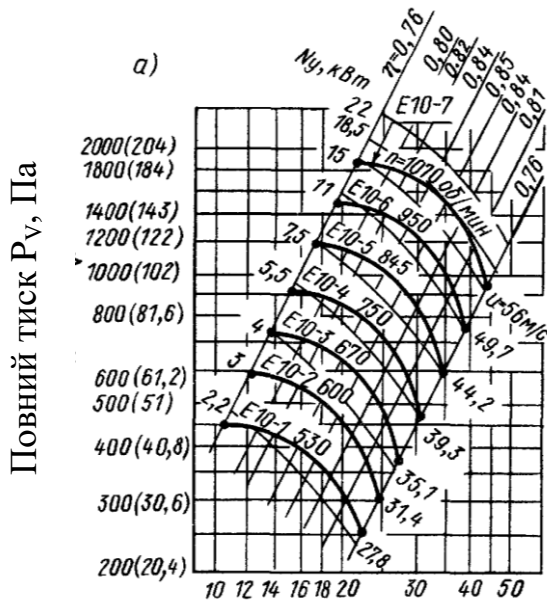
Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В7 – Аеродинамічні характеристики В.Ц4-75-10



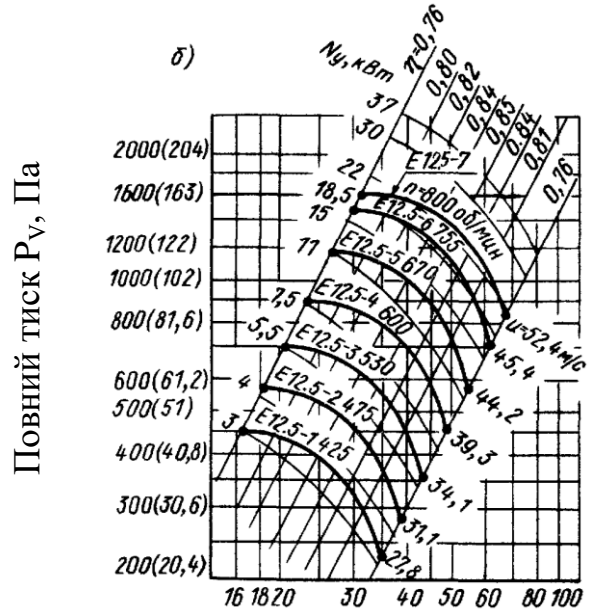
Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В8 – Аеродинамічні характеристики В.Ц4-75-12,5



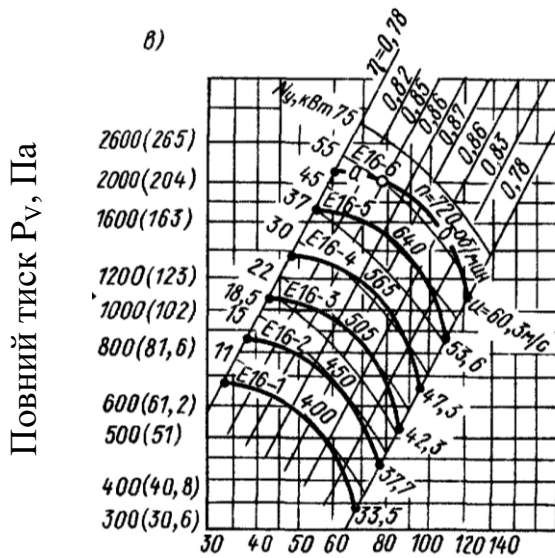
Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В9 – Аеродинамічні характеристики В.Ц4-75-10 (виконання 6)



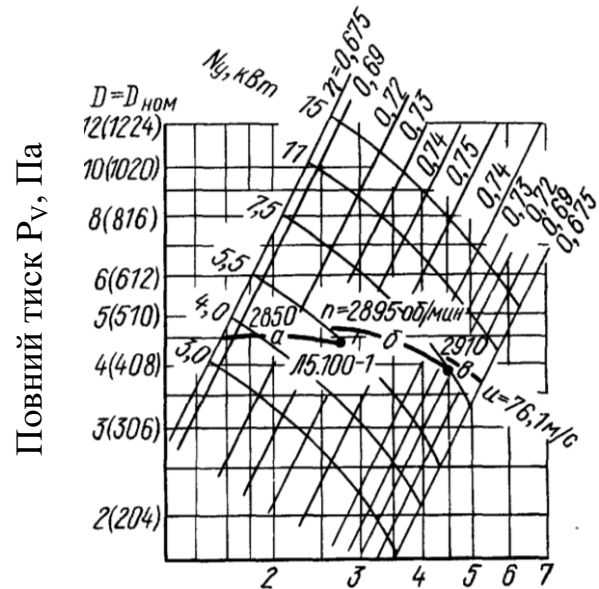
Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В10 – Аеродинамічні характеристики В.Ц4-75-12,5 (виконання 6)



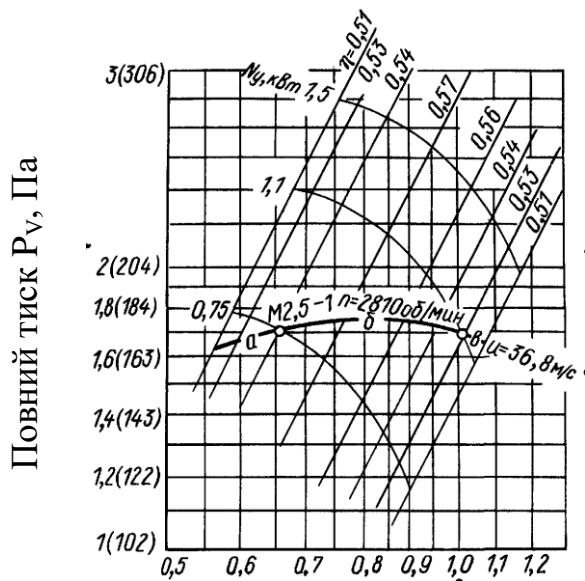
Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В11 – Аеродинамічні характеристики В.Ц4-75-16



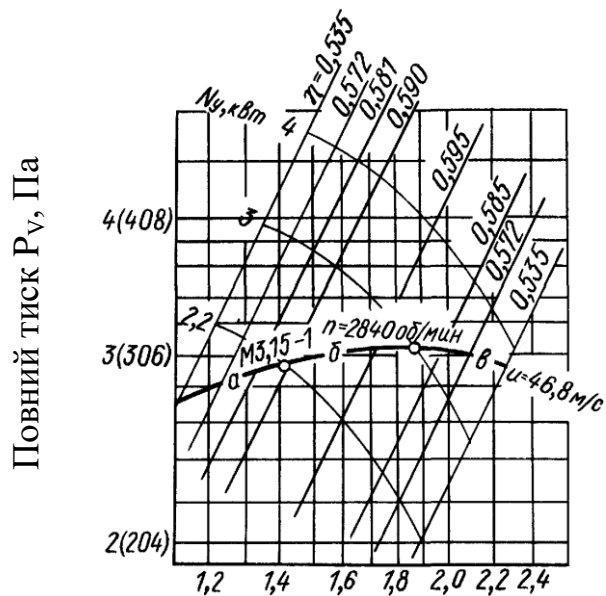
Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В12 – Аеродинамічні характеристики В.Ц6-28-5



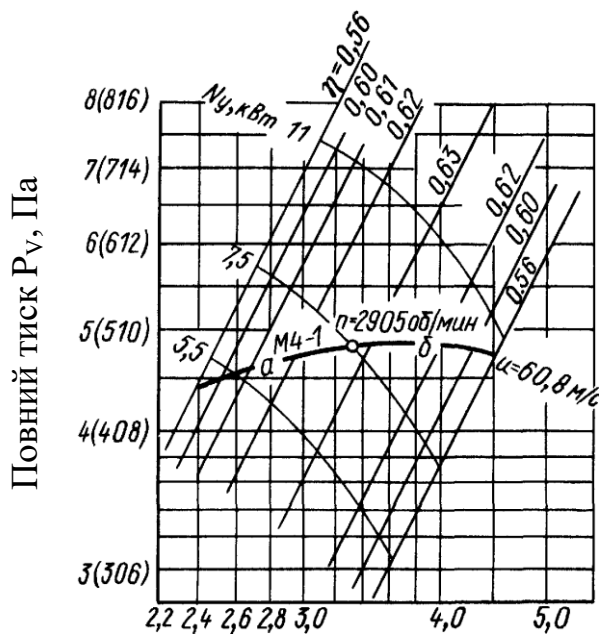
Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В13 – Аеродинамічні характеристики ВР-12-26-2,5



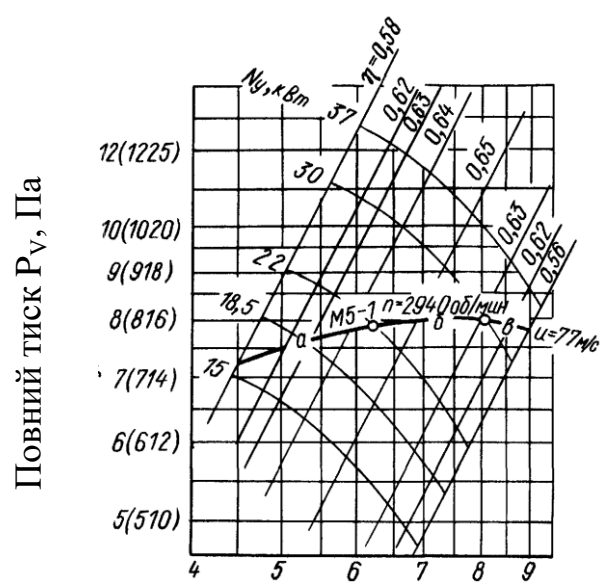
Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В14 – Аеродинамічні характеристики ВР-12-26-3,15



Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В15 – Аеродинамічні характеристики ВР-12-26-4



Продуктивність, тис. м³/ч

Рисунок В16 – Аеродинамічні характеристики ВР-12-26-5

Додаток Г. Приклад розрахунку

Початкові дані: Спроекувати систему димовидалення 18-поверхового житлового будинку з незадимлюваної сходами. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=28,5^\circ\text{C}$. Двері для виходу на сходову клітку має ширину $B = 0,9$ м, висоту $H = 2,2$ м, шахта димовидалення виконана з бетону, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 4,5 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 800 мм і довжиною 9 м з двома відводами. У ліфтовому холі встановлено два ліфти з розмірами дверей $B \times H = 820 \times 2050$ мм та $B \times H = 1320 \times 2050$ мм. Висота поверху 3 м, число дверей на поверсі - 4.

Порядок розрахунку

1. Витрата диму, що підлягає видаленню з коридору або холу, кг/с:

$$G_d = 0,95 B H^{1,5} n = 0,95 * 0,9 * 2,2^{1,5} * 0,82 = 2,29 \text{ кг/с};$$

2. Вибір димового клапана.

Приймаємо масову швидкість диму $10 \text{ кг/(см}^2\text{)}$, необхідна площа прохідного перетину клапана:

$$F = G_d / v_p = 2,29 / 10 = 0,229 \text{ м}^2.$$

Для установки приймаємо димової клапан типу КПДШГ-2,5 з площею прохідного перетину $F = 0,25 \text{ м}^2$. Дійсна масова швидкість диму:

$$v_p = G_d / F_{\text{кл}} = 2,29 / 0,25 = 9,16 \left[\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2} \right].$$

3. Проектування димової шахти.

Проектуємо шахту розміром 800×500 мм з площею $F_{\text{ш}} = 0,8 \cdot 0,5 = 0,4 \text{ м}^2$. Масова швидкість диму в шахті:

$$v_p^{\text{ш}} = G_d / F_{\text{ш}} = 2,29 / 0,4 = 5,72 \left[\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2} \right] < 8 \left[\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2} \right].$$

4. Втрати тиску в димовому клапані.

Клапан встановлений з коліном під кутом 90° , сума коефіцієнтів місцевих опорів $\xi_1 + \xi_2 = 2,2 + 0,3 = 2,5$. Поправочний коефіцієнт для коефіцієнтів місцевих опорів

$$K_T = 1,3 \frac{\rho}{\rho_B} = 1,3^{0,61/1,2} = 0,661.$$

Втрати тиску в димовому клапані:

$$\Delta P_{\text{кл}} = K_T (\xi_1 + \xi_2) \frac{v_p^2}{2\rho} = 0,661 \cdot 2,5 \frac{9,16^2}{2 \cdot 0,61} = 113,65 \text{ Па}.$$

5. Втрати тиску на тертя в шахті на першій ділянці.

Швидкісне (динамічне) тиск:

$$P_{\text{д1}} = \frac{(v_p^{\text{ш}})^2}{2\rho} = \frac{5,72^2}{2 \cdot 0,61} = 26,82 \text{ Па}.$$

Еквівалентний діаметр шахти:

$$d_{\text{екв}} = \frac{2ab}{a+b} = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 0,5}{0,8+0,5} = 0,615 \text{ м}.$$

Питомі втрати на тертя сталевих воздуховодів $R_{\text{тр}} = 0,065 \text{ кгс/м}^2$. Так як на номограмі питомі втрати тиску задані в Па/м, для переведення в кгс/м² необхідно значення, знайдене по номограмі, розділити на 9,8. Втрати тиску на тертя в шахті на першій ділянці:

$$\Delta P_{\text{тр}} = K_{\text{тр}} R_{\text{тр}} K_c l = 9,6 \cdot 0,065 \cdot 1,7 \cdot 3 = 3,18 \text{ Па}.$$

6. Загальні втрати тиску на першій ділянці.

$$\Delta P_1 = \Delta P_{\text{кл}} + \Delta P_{\text{тр}} = 113,65 + 3,18 = 116,83 \text{ Па}.$$

7. Підсмоктування повітря через нещільності закритого димового клапана на 2 поверсі.

8. Щільність і витрата газу в верхньому кінці шахти.

$$G_{\text{кл2}} = 0,0112 (F_{\text{кл}} \cdot \Delta P_1)^{0,5} = 0,0112 (0,25 \cdot 116,83)^{0,5} = 0,0605 \text{ кг/с}$$

Щільність газів в верхньому кінці (гирло) шахти:

$$\rho_y = \rho + \Delta\rho_3(N-1) = 0,61 + 0,0088 \cdot (18-1) = 0,7596 \text{ кг/м}^3.$$

Витрата газів в гирлі шахти:

$$G_y = 0,81 \frac{G_d \rho_y}{(1 - 0,83 \rho_y)} = 0,81 \frac{2,29 \cdot 0,7596}{1 - 0,83 \cdot 0,7596} = 3,812 \left[\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right].$$

9. Перевірка швидкості газів в гирлі шахти і уточнення її розмірів.

Перевіряємо видаткову швидкість газів:

$$v_p^y = \frac{G_y}{F_{\text{ш}}} = \frac{3,812}{0,4} = 9,53 \left[\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2} \right] < 15 \left[\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2} \right].$$

10. Коефіцієнт опору шахти.

Динамічне тиск в гирлі шахти:

$$P_{\text{ду}} = \frac{(v_p^y)^2}{2\rho_y} = \frac{9,53^2}{2 \cdot 0,7596} = 59,81 \text{ Па}.$$

Коефіцієнт опору шахти

$$\xi_{\text{ш}} = \frac{9,6 R_{\text{ш}} K_c l}{P_{\text{ду}}} + 0,3 K_T (N-1) = \frac{9,6 \cdot 0,065 \cdot 1,7 \cdot 51}{59,81} + 0,3 \cdot 0,75 (18-1) = 4,73.$$

11. Втрати тиску в шахті.

$$\Delta P_y = 0,5(P_{\text{д1}} + P_{\text{ду}}) \xi_{\text{ш}} + \Delta P_1 = 0,5(26,82 + 59,81)4,73 + 116,83 = 321,71 \text{ Па}.$$

12. Втрати тиску в повітроводі для приєднання шахти до вентилятора.

Питомі втрати на тертя в повітроводі, певні по динамічному тиску в гирлі шахти $P_{\text{ду}}$ і діаметру воздуховода $R_{\text{в}} = 0,112 \text{ кгс/м}^2$. Сума коефіцієнтів місцевих опорів дорівнює $\Sigma \xi = 2 \cdot 0,5 = 1$. Втрати тиску в повітроводі для приєднання шахти до вентилятора:

$$\Delta P_{\text{в}} = K_{\text{тр}} R_{\text{в}} K_c l_{\text{в}} + \Sigma \xi K_T \frac{(v_p^y)^2}{2\rho_y} = 9,6 \cdot 0,112 \cdot 1,7 \cdot 9 + 1 \cdot 0,75 \frac{9,53^2}{2 \cdot 0,7596} = 61,29$$

Па.

13. Втрати тиску системи на всмоктування.

$$\Delta P_{\text{ув}} = \Delta P_{\text{у}} + \Delta P_{\text{в}} = 321,71 + 61,29 = 383 \text{ Па.}$$

14. Підсосі повітря через нещільності конструкції шахти та повітроводів до вентилятора.

$$G_{\text{п}} = G_{\text{пш}} \Pi_{\text{ш}} l_{\text{ш}} + G_{\text{пв}} \Pi_{\text{в}} l_{\text{в}} + 0,1(G_{\text{у}} - G_{\text{д}}) = \\ = 0,0006 \cdot 2,6 \cdot 18 \cdot 3 \cdot 1,1 + 0,0006 \cdot 2,51 \cdot 9 + 0,1(3,812 - 2,29) = 0,258 \text{ кг/с'}$$

15. Загальний витрата газів перед вентилятором.

$$G_{\text{сум}} = G_{\text{у}} + G_{\text{п}} = 3,812 + 0,258 = 4,07 \text{ кг/с.}$$

16. Втрати тиску на всмоктування з урахуванням підсосу повітря через нещільності шахти і повітроводи.

$$\Delta P_{\text{вс}} = 0,5 \Delta P_{\text{ув}} \left[1 + \left(\frac{G_{\text{сум}}}{G_{\text{у}}} \right)^2 \right] = 0,5 \cdot 383 \left[1 + \left(\frac{4,07}{3,812} \right)^2 \right] = 409,8 \text{ Па.}$$

17. Щільність газів перед вентилятором.

$$\rho_{\text{сум}} = \frac{G_{\text{сум}}}{\frac{G_{\text{д}}}{\rho} + \frac{G_{\text{сум}} - G_{\text{д}}}{\rho_{\text{в}}}} = \frac{4,07}{\frac{2,29}{0,61} + \frac{4,07 - 2,29}{1,2}} = 0,777 \text{ кг/м}^3.$$

18. Температура суміші газів

$$T = \frac{353 - 273 \rho_{\text{сум}}}{\rho_{\text{сум}}} = \frac{353 - 273 \cdot 0,777}{0,777} = 181,3^{\circ} \text{C.}$$

19. Природний тиск за рахунок різниці питомих ваг зовнішнього повітря і газів.

Питома вага зовнішнього повітря:

$$\gamma_{\text{н}} = \frac{3463}{273 + t_{\text{н}}} = \frac{3463}{273 + 28,5} = 11,48 \text{ Н/м}^3.$$

Питома вага газів до вентилятора

$$\gamma_{\text{г}} = \rho_{\text{сум}} g = 0,777 \cdot 9,81 = 7,62 \text{ Н/м}^3.$$

Середня питома вага газів до вентилятора

$$\gamma_{\text{сг}} = 4,9(\rho_{\text{в}} + \rho) = 4,9(1,2 + 0,61) = 8,869 \text{ Н/м}^3.$$

Природне тиск за рахунок різниці питомих ваг зовнішнього повітря і газів

$$\Delta P_{\text{ес}} = h(\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{сг}}) + h_{\text{г}}(\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{г}}) = 52(11,48 - 8,869) + 4,5(11,48 - 7,62) = 153,69 \text{ Па.}$$

20. Втрати тиску в системі з урахуванням природного тиску газів.

Масова швидкість в димовій трубі

$$v_{\text{вих}} = \frac{G_{\text{сум}}}{F_{\text{в}}} = 4,07 / 0,5024 = 8,1 \left[\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2} \right],$$

Динамічний тиск в димовій трубі

$$P_{\text{д вих}} = \frac{v_{\text{вих}}^2}{2\rho_{\text{сум}}} = \frac{8,1^2}{2 \cdot 0,777} = 42,22 \text{ Па, питомі втрати тиску (по діаметру ди-}$$

маря і динамічному тиску на виході) $R_{\text{тр}} = 0,072 \text{ кгс/м}^2$.

Втрати тиску на викид газів в атмосферу

$$\Delta P_{\text{вих}} = K_{\text{тр}} R_{\text{тр}} K_{\text{с}} l + \sum \xi P_{\text{д вих}} = 9,6 \cdot 0,072 \cdot 1 \cdot 4,5 = 3,11 \text{ Па.}$$

Повні втрати тиску в мережі:

$$\Delta P_{\text{сум}} = \Delta P_{\text{вс}} + \Delta P_{\text{вих}} = 409,8 + 3,11 = 412,9 \text{ Па.}$$

Втрати тиску в системі з урахуванням природного тиску газів:

$$\Delta P_{\text{вен}} = \Delta P_{\text{сум}} - \Delta P_{\text{ес}} = 412,9 - 153,69 = 259,2 \text{ Па.}$$

21. Умовні втрати, наведені до щільності стандартного повітря.

$$\Delta P_{\text{усл}} = 1,2 \frac{\Delta P_{\text{вен}}}{\rho_{\text{сум}}} = 1,2 \frac{259,2}{0,777} = 400,34 \text{ Па.}$$

22. Необхідна продуктивність вентилятора, м³/год

$$L_{\text{вен}} = 3600 \frac{G_{\text{сум}}}{\rho_{\text{сум}}} = 3600 \frac{4,07}{0,777} = 18857 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

Виходячи з умовних втрат і необхідної продуктивності, підбирається вентилятор для системи димовидалення (Додаток 3).

Додаток Д. Вихідні дані для розрахунку
Таблиця Д.1 – Вихідні дані для розрахунку.

Номер варіанту	Вихідні дані
1	2
1	Спроекувати систему димовидалення 10-поверхового громадського будівлі з незадимлюваної сходами. У будівлі працюють 250 чоловік. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=28^{\circ}\text{C}$. Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1$ м, висоту $H = 2,2$ м, шахта димовидалення виконана з цегли, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 3 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 600 мм і довжиною 7 м з двома відводами. У ліфтовому холі встановлено два ліфти з розмірами дверей $B \times H = 820 \times 2050$ мм та $B \times H = 1320 \times 2050$ мм. Висота поверху 3,4 м, число дверей на поверсі - 4.
2	Спроекувати систему димовидалення 24-поверхового житлового будинку з незадимлюваної сходами. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=26^{\circ}\text{C}$. Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1,2$ м, висоту $H = 2,8$ м, шахта димовидалення виконана з бетону, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 4 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 700 мм і довжиною 7 м з трьома відводами. У ліфтовому холі встановлено два ліфти з розмірами дверей $B \times H = 820 \times 2050$ мм та $B \times H = 1320 \times 2050$ мм. Висота поверху 3 м, число дверей на поверсі - 4.
3	Спроекувати систему димовидалення 14-поверхового громадського будівлі з незадимлюваної сходами. У будівлі працюють 340 чоловік. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=28^{\circ}\text{C}$. За визначальну температуру газу прийняти 450°C . Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1,5$ м, висоту $H = 2,5$ м, шахта димовидалення виконана з бетону, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 4 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 800 мм і довжиною 8 м з двома відводами. У ліфтовому холі встановлено два ліфти з розмірами дверей $B \times H = 820 \times 2050$ мм і $B \times H = 1320 \times 2050$ мм. Висота поверху 3,5 м, число дверей на поверсі - 6.

1	2
4	<p>Спроекувати систему димовидалення 20-поверхового житлового будинку з незадимлюваної сходами. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=27^{\circ}\text{C}$. Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1$ м, висоту $H = 2,6$ м, шахта димовидалення виконана з цегли, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 5 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 900 мм і довжиною 5 м з двома відводами. У ліфтовому холі встановлено два ліфти з розмірами дверей $B \times H = 820 \times 2050$ мм і $B \times H = 1320 \times 2050$ мм. Висота поверху 3 м, число дверей на поверсі - 4.</p>
5	<p>Спроекувати систему димовидалення з підземної автостоянки 16-поверхового житлового будинку. У приміщенні знаходяться одночасно не більше 20 осіб. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=28^{\circ}\text{C}$. Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1,2$ м, висоту $H = 2,8$ м, шахта димовидалення виконана з цегли, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 4 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 800 мм і довжиною 8 м з двома відводами. У ліфтовому холі встановлено два ліфти з розмірами дверей $B \times H = 820 \times 2050$ мм і $B \times H = 1320 \times 2050$ мм. Висота поверху будинку 3 м, число дверей на поверсі - 4. Висота приміщення підземної автостоянки 6 м. За визначальну прийняти температуру газу 600°C.</p>
6	<p>Спроекувати систему димовидалення з підземної автостоянки 12-поверхового житлового будинку. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=28^{\circ}\text{C}$. У приміщенні знаходяться одночасно не більше 15 осіб. Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1,5$ м, висоту $H = 3$ м, шахта димовидалення виконана з бетону, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 3 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 600 мм і довжиною 8 м з трьома відводами. У ліфтовому холі встановлено два ліфти з розмірами дверей $B \times H = 820 \times 2050$ мм і $B \times H = 1320 \times 2050$ мм. Висота поверху будинку 3 м, число дверей на поверсі - 4. Висота приміщення підземної автостоянки 5 м. За визначальну прийняти температуру газу 600°C.</p>

1	2
7	<p>Спроекувати систему димовидалення з виробничого приміщення, розташованого на першому поверсі 8-поверхової будівлі. У приміщенні знаходяться одночасно 120 осіб. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=28^{\circ}\text{C}$. Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1,5$ м, висоту $H = 3$ м, шахта димовидалення обштукатурено по сітці, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 3 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 900 мм і довжиною 6 м з одним відведенням. Висота поверху будинку 3 м, число дверей на поверсі - 4. Висота виробничого приміщення 5 м. За визначальну прийняти температуру газу 600°C.</p>
8	<p>Спроекувати систему димовидалення з виробничого приміщення, розташованого на першому поверсі 6-поверхової будівлі. У приміщенні знаходяться одночасно 80 чоловік. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=26^{\circ}\text{C}$. Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1,3$ м, висоту $H = 2,4$ м, шахта димовидалення обштукатурено по сітці, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 4 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 900 мм і довжиною 8 м з одним відведенням. Висота поверху будинку 3,1 м, число дверей на поверсі - 4. Висота виробничого приміщення 4 м. За визначальну прийняти температуру газу 450°C.</p>
9	<p>Спроекувати систему димовидалення 13-поверхового громадського будівлі з незадимлюваної сходами. У будівлі працюють 300 чоловік. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=27^{\circ}\text{C}$. Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1,1$ м, висоту $H = 2,1$ м, шахта димовидалення виконана з бетону викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 4 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 700 мм і довжиною 9 м з двома відводами. У ліфтовому холі встановлено два ліфти з розмірами дверей $B \times H = 820 \times 2050$ мм і $B \times H = 1320 \times 2050$ мм. Висота поверху 3,2 м, число дверей на поверсі - 4.</p>

1	2
10	<p>Спроекувати систему димовидалення 20-поверхового громадського будівлі з незадимлюваної сходами. У будівлі працюють 200 чоловік. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=28^{\circ}\text{C}$. Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1,6$ м, висоту $H = 2,3$ м, шахта димовидалення виконана з цегли, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 5 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 800 мм і довжиною 4 м з двома відводами. У ліфтовому холі встановлено два ліфти з розмірами дверей $B \times H = 820 \times 2050$ мм і $B \times H = 1320 \times 2050$ мм. Висота поверху 3,3 м, число дверей на поверсі - 4.</p>
11	<p>Спроекувати систему димовидалення 22-поверхового житлового будинку з незадимлюваної сходами. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=26^{\circ}\text{C}$. Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1,2$ м, висоту $H = 2,8$ м, шахта димовидалення виконана з цегли, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 4 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 900 мм і довжиною 6 м з трьома відводами. У ліфтовому холі встановлено два ліфти з розмірами дверей $B \times H = 820 \times 2050$ мм і $B \times H = 1320 \times 2050$ мм. Висота поверху 3 м, число дверей на поверсі - 4. За визначальну прийняти температуру газу 450°C.</p>
12	<p>Спроекувати систему димовидалення 20-поверхового житлового будинку з незадимлюваної сходами. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=25^{\circ}\text{C}$. Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1,4$ м, висоту $H = 2,7$ м, шахта димовидалення виконана з бетону, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 3 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 900 мм і довжиною 8 м з трьома відводами. У ліфтовому холі встановлено два ліфти з розмірами дверей $B \times H = 820 \times 2050$ мм і $B \times H = 1320 \times 2050$ мм. Висота поверху 3 м, число дверей на поверсі - 4. За визначальну прийняти температуру газу 450°C.</p>

1	2
13	<p>Спроекувати систему димовидалення з виробничого приміщення, розташованого на першому поверсі 6-поверхової будівлі. У приміщенні знаходяться одночасно 100 осіб. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=28^{\circ}\text{C}$. Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1,5$ м, висоту $H = 3$ м, шахта димовидалення виконана з цегли, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 4 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 800 мм і довжиною 4 м з двома відводами. Висота поверху будинку 3 м, число дверей на поверсі - 4. Висота виробничого приміщення 4,5 м. За визначальну прийняти температуру газу 600°C.</p>
14	<p>Спроекувати систему димовидалення з підземної автостоянки 18-поверхового житлового будинку. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=27^{\circ}\text{C}$ У приміщенні знаходяться одночасно не більше 30 осіб. Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1,5$ м, висоту $H = 2,7$ м, шахта димовидалення виконана з цегли, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 4 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 700 мм і довжиною 8 м з двома відводами. У ліфтовому холі встановлено два ліфти з розмірами дверей $B \times H = 820 \times 2050$ мм і $B \times H = 1320 \times 2050$ мм. Висота поверху будинку 3 м, число дверей на поверсі - 4. Висота приміщення підземної автостоянки 4 м. За визначальну прийняти температуру газу 600°C.</p>
15	<p>Спроекувати систему димовидалення з підземної автостоянки 16-поверхового житлового будинку. Розрахункова температура зовнішнього повітря в теплий період року $t_n=26^{\circ}\text{C}$ У приміщенні знаходяться одночасно не більше 40 осіб. Двері для виходу на сходову клітку мають ширину $B = 1,5$ м, висоту $H = 3$ м, шахта димовидалення обштукатурено по сітці, викид газу в атмосферу організований через сталевий повітропровід висотою 4,5 м. Для приєднання шахти до вентилятора використовується сталевий повітропровід діаметром 800 мм і довжиною 9 м з двома відводами. У ліфтовому холі встановлено два ліфти з розмірами дверей $B \times H = 820 \times 2050$ мм і $B \times H = 1320 \times 2050$ мм. Висота поверху будинку 3,1 м, число дверей на поверсі - 4. Висота помеще-ня підземної автостоянки 3,5 м. За визначальну прийняти температура газу 450°C.</p>

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (Теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). М.: Изд. «высшая школа» 1982 - 415 с.
1. Стефанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Санкт-Петербург, Изд. «АВОК Северо-Запад» – 2005 г. – 399 с
2. Калинушкин М.П. Вентиляторные установки. М.: «Высшая школа» - 1982 – 294 с.
3. В. Ананьев и др. Системы вентиляции и кондиционирования. Москва, Евроклимат – 2001 – 416 с.
4. А. Беккер. Системы вентиляции. Москва, Техносфера, Евроклимат, 2005 – 231 с.
5. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Справочное пособие. Под ред. Стомагиной Г.И. – М.: Изд. «Транспорт» 2003 – 275 с..
6. Михайлов Ф.С. Отопление и основы вентиляции. М.: Стройиздат – 1972 г – 415 с.
7. Торговников Б.М. и др. Проектирование промышленной вентиляции: Справочник. Б.М. Торговников, В.Е. Табачник, Е.М. Ефанов. – К.: Будівельник, 1983 – 256 с.
8. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 3 Вентиляция и кондиционирование воздуха. Под ред. к.т.н. Н.Н. Павлова, Ю.И. Шиллера. – М.: Стройиздат – 1992 – 416 с.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Вихідні дані для розрахунку системи димовиделення.....	4
2. Порядок розрахунку.....	4
Додатки.....	11
Додаток А. Димові клапани.....	11
Додаток Б. Номограма для визначення питомих втрат на тертя в круглих повітропроводах	12
Додаток В. Аеродинамічні характеристики вентиляторів	13
Додаток Г. Приклад розрахунку	17
Додаток Д. Вихідні дані для розрахунку	23
Список використаних джерел інформації.....	28

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до курсової роботи
«Розрахунок системи димовиделення»
з курсу «Вентиляція та кондиціювання повітря»

для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»

Укладач: АВДЄЄВА Олена Петрівна

Відповідальний за випуск *О. П. Усатий*
Роботу до видання рекомендував *Л. І. Тютюнник*
В авторській редакції

План 2019 р., поз.

Підписано до друку . 2019 р. Формат 60×84 ¹/₁₆. Папір офсетний. Друк – ризографія.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,95. Наклад. 50 прим. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ „ХПІ”, 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №3657 від 24.12.2009 р.
